



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 569 673 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: **93103456.5**

(51) Int. Cl. 5: **H01L 41/09**

(22) Anmeldetag: **04.03.93**

(30) Priorität: **15.05.92 DE 4216050**

(71) Anmelder: **Daimler-Benz Aktiengesellschaft  
Postfach 80 02 30  
D-70546 Stuttgart(DE)**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**18.11.93 Patentblatt 93/46**

(72) Erfinder: **Schöner, Hans-Peter, Dr.-Ing.  
Eschenweg 3  
W-6101 Modautal 3(DE)  
Erfinder: Wallaschek, Jörg, Prof. Dr.-Ing.  
Weißenweg 20  
W-4790 Paderborn(DE)**

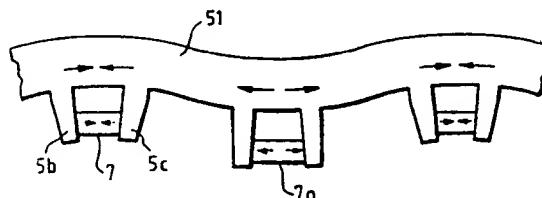
(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**ES FR GB IT**

(74) Vertreter: **Vogl, Leo, Dipl.-Ing.  
AEG Aktiengesellschaft  
D-60591 Frankfurt (DE)**

(54) **Ultraschallwanderwellenmotor mit formschlüssiger Anregung von Wanderwellen.**

(57) Bei einem Ultraschallmotor mit einem Schwingkörper aus einem elastischen Material, der mindestens zwei Ultraschallanregelemente zur Anregung von akustischen Wanderwellen in dem Schwingkörper sowie einen Rotor aufweist, der unter Druck in Reibkontakt mit einem Oberflächenbereich des Schwingkörpers steht, ist vorgesehen, daß die Ultraschallanregelemente formschlüssig durch Klemmkräfte an den Schwingkörper gehalten werden.

**FIG.7**



Die vorliegende Erfindung betrifft einen Ultraschallmotor, bei dem ein Antriebsmoment mit Hilfe eines Ultraschalloszillators, z. B. eines Piezoelektriums oder eines Magnetostriktionselementes erzeugt wird. Ein solcher Ultraschallmotor, wie er z.B. aus dem US-Patent 4,562,374 bekannt ist, besteht aus einem Rotor und einem Stator aus elastischem Material, wobei in letzterem durch Ultraschalloszillatoren mechanische Wellen angeregt werden. Rotor und Stator stehen unter axialem Druck im Bereich einer Kontaktfläche in Kontakt, die mit einem geeigneten Reibbelag versehen ist. Vorteile solcher Motoren sind unter anderem die Möglichkeit, ohne Getriebe hohe Drehmomente bei anwenderfreundlichen niedrigen Drehzahlen zu erzeugen, ihr kleines Bauvolumen mit geringem Gewicht und hoher Energiedichte sowie ein hohes Haltmoment im passiven Zustand.

Das in einem piezoelektrischen Wanderwellenmotor verwendete Antriebskonzept wird in einem Artikel in JEE (June 1986, P.66 - 70) dargestellt. Danach enthält der in einem solchen Motor verwendete Schwingstator eine kreisringförmige Piezokeramikscheibe, die mit Elektroden versehen und mit dem eigentlichen Schwingkörper verklebt ist. Zwei Arbeitselektroden zur einen Seite der Piezokeramik bilden mit einem metallischen Schwingkörper, der zur anderen Seite der Piezokeramik als Gegenelektrode wirkt, zwei getrennte Anregesysteme. Unter jeder der Arbeitselektroden befinden sich in der Keramik wechselweise unterschiedlich polarisierte Bereiche, die im weitestem Sinne mit der Polteilung konventioneller Motoren vergleichbar sind.

Der eigentliche Schwingkörper ist als Metallring oder als kreisförmige Metallscheibe ausgebildet. Die Schwingungsanregung erfolgt über den umgekehrten piezoelektrischen Effekt, wonach beim Anlegen einer elektrischen Spannung in polaren Ionenkristallen der Kristall eine Formänderung erfährt. Über die Arbeitselektroden wird die Piezokeramik mit hochfrequenter Wechselspannung so angeregt, daß im Stator mechanische Wanderwellen erzeugt werden. Die Oberflächenelemente des Stators in der Kontaktfläche mit dem Rotor bewegen sich dabei näherungsweise auf elliptischen Bahnen, so daß aufgrund der Reibung zwischen Stator und Rotoroberfläche in der Kontaktzone zwischen den beiden Oberflächen tangentiale Kräfte entstehen, die zur Ausbildung einer Rotorbewegung führen.

Die Fig. 1 und 2 zeigen in einer schematischen Darstellung einen Schwingstator für einen piezoelektrischen Rotationsmotor mit den Arbeitselektroden 1 bzw. 2 unter den jeweils positiv bzw. negativ polarisierten Bereichen in der piezoelektrischen Keramik mit jeweils einem Winkelbereich von  $1/9$ , angeordnet sind. In den von der Piezokeramik frei-

en Winkelbereichen sind zur sensorischen Erfassung des Motorzustandes Sensorelektroden ES angeordnet.

In Fig. 2 ist die aus dem Stand der Technik bekannte Anordnung der Piezokeramik 3 zwischen den Arbeitselektronen 1, 2 und der durch den metallischen Schwingkörper 4 gebildeten Gegenelektrode illustriert. Die für die Erzeugung von Wanderwellen im passiven eigentlich Schwingkörper 4 erforderliche Kopplung zwischen Schwingkörper 4 und Piezokeramik 3 erfolgt dabei kraftschlüssig durch eine Klebeverbindung 3a an der Kontaktfläche zwischen Schwingkörper und Keramik.

Fig. 3 zeigt schematisch ein scheibenförmiges Piezokeramiksegment mit einer Scheibendicke  $z$  und linearer Ausdehnung  $X$ , wobei  $z$  klein gegenüber  $X$  ist. Bei Anlage eines elektrischen Feldes senkrecht zur Scheibenoberfläche findet man, daß die piezoelektrische Deformation senkrecht zur Feldrichtung, d. h. in  $X$ -Richtung, um eine Größenordnung größer ist als parallel zur Feldrichtung, d.h. in  $z$ -Richtung. Bei einem Kreisringsegment führt dies dazu, daß die Deformation der Piezokeramik näherungsweise ausschließlich in Umfangsrichtung erfolgt.

Fig. 4a zeigt die schematische Darstellung eines Schwingstators, bestehend aus einem elastischen Schwingkörper 5 und einer mit diesem verklebten symmetrisch polarisierten Piezokeramik 6.

In Fig. 4b ist gezeigt, wie sich bei Anlage eines statischen elektrischen Feldes wegen der kraftschlüssigen Verbindung zwischen Piezokeramik 6 und elastischem Körper 5, in der Oberfläche des letzteren Wellentäler und Wellenberg ausbilden.

Eine Umkehrung der Polarität des elektrischen Feldes führt, wie in Fig. 4c gezeigt, zu einer Invertierung von Wellentälern und Wellenberg. Legt man eine sinusförmige Wechselspannung an, führt jedes Piezokeramiksegment mit der Periode der Wechselspannung Kontraktionen und Dehnungen aus, so daß sich stehende Wellen im Schwingstator ausbilden (Fig. 4d). Durch Überlagerung von zwei um  $90^\circ$  phasenverschobenen stehenden Wellen können Wanderwellen im Schwingstator angeregt werden. Die Bewegung eines Oberflächenpunktes  $P_0$  des Schwingstators erfolgt dabei entlang einer elliptischen Bahn, die entgegengesetzt zur Ausbreitungsrichtung der Wanderwelle durchlaufen wird, wobei ein Ellipsenumlauf der Periodenzzeit der elektrischen Anregung entspricht (Fig. 5).

Die kraftschlüssige Kopplung zwischen anregender Piezokeramik und angeregtem Schwingkörper durch eine Klebeschicht weist einige Nachteile auf. Insbesondere werden die Eigenschaften des Motors in schwer zu kontrollierender Weise durch die Güte der Klebeschicht bzw. durch die durch die Klebeschicht verursachten Übertragungsverluste beeinflußt. Die Kopplung zwischen Piezokeramik

und Schwingkörper ist durch die unterschiedlichen Temperaturausdehnungs-Koeffizienten von Piezokeramik und Schwingkörper sowie durch die Klebe-eigenschaften temperaturabhängig. Da die Piezokeramik sehr empfindlich auf Dehnung reagiert, muß, um einen Bruch der Piezokeramik zu vermeiden, für eine ausreichende mechanische Vorspannung gesorgt werden, durch die die maximale Schwingungsamplitude der Keramik definiert wird. Hierzu wird die Keramik bei hoher Temperatur auf den Schwingkörper geklebt. Trotz einer thermischen Vorspannung besteht jedoch die Gefahr von Brüchen, da mit wachsender Betriebstemperatur die Vorspannung reduziert wird.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Ultraschallmotor zu schaffen, bei dem insbesondere die oben erwähnten Probleme der Kopplung zwischen Ultraschalloszillatoren und Schwingkörper vermieden werden. Nach Anspruch 1 wird die Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Ultraschalloszillatoren formschlüssig durch Klemmkräfte an den Schwingkörper gehalten werden. Der erfindungsgemäße Motor weist gegenüber dem Stand der Technik u. a. folgende Vorteile auf:

Mit der Klebeschicht zwischen Ultraschalloszillatoren und Schwingkörper entfallen damit verbundene Übertragungsverluste; die formschlüssige Kopplung zwischen Ultraschalloszillatoren und Schwingkörper ermöglicht eine höhere Vorspannung und damit eine höhere Belastbarkeit und Ausnutzung des Leistungsvermögens der Piezokeramik. Fertigungstechnisch ergibt sich der Vorteil, daß die Arbeitsgänge Polarisieren und Kleben der Keramik entfallen können. Darüber hinaus können bei dem erfindungsgemäßen Motor zur Schwingungsanregung in einfacher Weise piezoelektrische Linearelemente verwendet werden, d. h. solche Oszillatoren, bei denen die Ausdehnung bzw. Kontraktion hauptsächlich entlang der Polarisationsrichtung erfolgt. Gegenüber den herkömmlicherweise verwendeten Keramikringen, die bei Beschädigung als Ganze ersetzt werden müssten, haben formschlüssig eingesetzte Linearelemente den Vorteil, einzeln leicht ausgetauscht werden zu können.

Vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben. Für den Fachmann ist es ersichtlich, daß neben piezokeramischen, auch elektro- oder magnetostriktiven und anderen in ihrer Dehnung steuerbaren Materialien in dem erfindungsgemäßen Ultraschallmotor zur Schwingungsanregung verwendet werden können. Der erfindungsgemäße Motor kann als Linear- und als Scheiben- oder Kreisringmotor ausgestaltet werden.

Die Erfindung wird nachstehend an Hand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 10 näher erläutert:

- 5 Fig. 1 zeigt die Konfiguration der Piezokeramik für den Stator eines Ultraschallmotors,
- Fig. 2 zeigt den Querschnitt durch den Schwingstator eines Ultraschallmotors,
- Fig. 3 zeigt die Deformation eines piezoelektrischen Kreisringsegments bei Anlage eines elektrischen Feldes,
- 10 Fig. 4 zeigt die Anregung von stehenden Wellen in einer Piezokeramik,
- Fig. 5 zeigt die elliptische Bewegung eines Oberflächenpunktes bei Anregung einer Wanderwelle im Schwingkörper,
- 15 Fig. 6 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors,
- Fig. 7 zeigt eine Abwandlung des Motors gem. Fig. 6,
- 20 Fig. 8 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors,
- Fig. 9 zeigen weitere Ausführungsbeispiele eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors,
- 25 Fig. 10 zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors.

Die Figur 6 zeigt eine schematische Seitenansicht eines ersten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Ultraschallmotors. Zur Vereinfachung sind der Rotor sowie die zur Halterung des Stators verwendeten Mittel nicht dargestellt. Mit 5 ist eine Schwingplatte bezeichnet, mit Schlitten o. ä. 5a, zur Aufnahme von piezokeramischen Ultraschalloszillatoren 7, 7a. Die Piezokeramik 7, 7a wird unter mechanischer Vorspannung, z. B. durch Stellschrauben, Keile, Einschrumpfen oder ähnliches an die Schwingplatte 5 gehalten. Der Einbau der Oszillatoren erfolgt bezüglich der in der Schwingplatte erzeugten Wanderwelle vorzugsweise an einer Stelle maximaler Schwingungsamplitude der Stehwellen. Das Oszillatorelement 7 besteht aus zwei unterschiedlich polarierten Piezokeramikzylindern, die über eine Mittelelektrode und zwei an den Zylinderstirnseiten angeordneten Gegenelektroden angesteuert werden. Als Gegenelektrode kann auch die metallische Schwingplatte verwendet werden. Die Pfeile bei den Piezokeramiken deuten Dehnungs- bzw. Kontraktionszustände an. Bei dem Ausführungsbeispiel dieser Figur sind als Ultraschalloszillatoren piezokeramische Linearelemente gewählt worden, d. h. solche bei denen die Hauptausdehnung der Keramik entlang der Polarisationsrichtung erfolgt. Jedoch ist es auch möglich piezokeramische Oszillatoren zu verwenden, bei denen die Hauptausdehnungsrichtung senkrecht zur Polarisationsrichtung liegt. In diesem Fall liegen

die Arbeitselektroden i. w. parallel zur Schwingplatte. Ebenso können magneto- oder elektrostriktive Elemente verwendet werden. Außerdem kann mit Hilfe eines elastischen mechanischen Koppelgliedes eine Impedanzanpassung vorgenommen werden. Außerdem kann mit Hilfe eines elastischen mechanischen Koppelgliedes eine Impedanzanpassung vorgenommen werden.

Bei Anlage eines elektrischen Feldes an die Piezoelemente 7, 7a, ergibt sich eine Dehnung bzw. Kontraktion, abhängig von der Richtung des elektrischen Feldes gegenüber der Polarisationsrichtung der Piezokeramik. Dies führt aufgrund der formschlüssigen Verbindung zwischen den Piezokeramiken und der Schwingplatte 5 zu entsprechenden Deformationen in der Schwingplatte 5. Bei Anregung mit Wechselspannung lassen sich so Biegeschwingungen in der Schwingplatte 5 erzeugen, deren phasenrichtige Überlagerung zu den gewünschten Wanderwellen führt.

Fig. 7 zeigt eine Abwandlung des Ausführungsbeispiels aus Fig. 6. Die formschlüssige Verbindung zwischen Ultraschallanregeelementen 7, 7a und der Schwingplatte 51 erfolgt hier durch an der Schwingplatte 5 befestigte Vorsprünge 5b, 5c, die als Hebelarme wirken. Ebenso wie bei dem Ausführungsbeispiel in Fig. 6 werden die Piezoelemente durch Klemmkräfte an den Schwingkörper gehalten, die z. B. durch Stellschrauben oder auch eine Presspassung erzeugt werden. Aus der Figur 7 ist ersichtlich, daß Dehnungen bzw. Kontraktionen der Piezoelemente über die Hebel Kontraktion bzw. Dehnungen in einem Gebiet der Schwingplatte 5 zwischen den Hebeln erzeugt. Hiermit wiederum können Biege- und Wanderwellen in der Schwingplatte 5 angeregt werden.

Figur 8 zeigt die Seitenansicht eines zweiten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Ultraschallmotors. Zwischen einer Schwingplatte 52 und einem festen Widerlager 8 sind Ultraschalloszillatoren 9, 9a angeordnet. Schwingplatte 52 und Widerlager 8 werden dabei unter Druck aneinander gehalten. Bei Anlage eines elektrischen Feldes (über Elektroden, die in der Fig. 8 nicht dargestellt sind) führen die Elemente 9, 9a Dehnungen bzw. Kontraktionen senkrecht zur Oberfläche des festen Widerlagers 8 aus. Die Schwingplatte 52 folgt bei Anregung mit ihrer Resonanzfrequenz diesen Bewegungen lokal und führt eine Biegebewegung gegenüber der Gleichgewichtslage aus. So führt z. B. die in Fig. 8 gezeigte Dehnung des Elements 9 in einem an der Kontaktfläche mit der Schwingplatte 52 benachbarten Gebiet zu Kontraktionen, während die Kontraktion des Elements 9a zu einer Dehnung in einem entsprechenden Gebiet der Schwingplatte 52 führt. Auf diese Weise ist es möglich, in der Schwingplatte 52 die Biege- und Wanderwellen anzuregen.

5 Figuren 9 zeigen weitere Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Ultraschallmotors. Hier sind die Ultraschallanregeelemente 10, 10a zwischen der Schwingplatte 53 und lokalen T- bzw. U-förmigen Widerlagern (11) unter Vorspannung angeordnet. Die Anregung von Biegewellen erfolgt ähnlich wie bei dem Ausführungsbeispiel von Fig. 8, durch zur Oberfläche der Schwingplatte 53 im Gleichgewichtszustand senkrechte Dehnungen bzw. Kontraktionen der Linearelemente 10, 10a.

10 Figur 10 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors. Hierbei sind unter Druck zwischen den beiden Schwingplatten 12 und 13 Ultraschallanregeelemente 14, 14a angeordnet. Die Anregung von Biegewellen in den Platten 12 und 13 erfolgt durch senkrecht zu ihrer Oberfläche stattfindende Dehnungs- bzw. Kontraktionsbewegungen der Oszillationselemente 14, 14a. Die Anregung erfolgt vorzugsweise in beiden Schwingkörpern 12, 13 symmetrisch, so daß gegenüberliegende Oberflächenelemente der elastischen Körper 12, 13 spiegelsymmetrische Bewegungen ausführen. Man erhält daher in beiden Schwingplatten 12, 13 gleichsinnig nutzbare Biegeschwingungen, die zum Antrieb von zwei planar angeordneten Rotoren verwendet werden können.

#### Patentansprüche

- 30 1. Ultraschallmotor mit einem Schwingkörper aus einem elastischen Material, der mindestens zwei Ultraschallanregeelemente zur Anregung von akustischen Wanderwellen in dem Schwingkörper sowie einen Rotor aufweist, der unter Druck in Reibkontakt mit einem Oberflächenbereich des Schwingkörpers steht, dadurch gekennzeichnet, daß die Ultraschallanregeelemente formschlüssig durch Klemmkräfte an den Schwingkörper gehalten werden.
- 35 2. Ultraschallmotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Ultraschallanregeelemente piezokeramische, elektrostriktive oder magnetostriktive Elemente verwendet werden.
- 40 3. Ultraschallmotor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß piezokeramische Linearelemente verwendet werden, bei denen die Richtung des angelegten elektrischen Feldes gleich der Hauptrichtung der Dehnungen bzw. Kontraktionen des Elementes ist.
- 45 5. Ultraschallmotor nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß Linearelemente verwendet werden, deren Anregevermögen durch Kopplung mit elastischen Elementen vergrößert wird (Impedanzanpassung).

5. Ultraschallmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils zwei gegensinnig polarisierte Linearelemente zusammengefaßt und durch eine gemeinsame Mittelelektrode angesteuert werden. 5
6. Ultraschallmotor nach Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß im Schwingkörper (5) Slitze (5a) zur Aufnahme der Ultraschallanregeelemente vorgesehen sind. 10
7. Ultraschallmotor nach Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß am Schwingkörper (51) Vorsprünge (5b, 5c) vorgesehen sind, zwischen denen die Ultraschallanregeelemente formschlüssig durch Klemmkräfte gehalten werden. 15
8. Ultraschallmotor nach Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß ein festes Widerlager (8) vorgesehen ist und daß Ultraschallanregeelemente (9, 9a) unter Druck zwischen dem Schwingkörper (52) und dem Widerlager (8) angeordnet sind. 20
9. Ultraschallmotor nach Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß lokale T-förmige Widerlager (11) vorgesehen sind und daß die Ultraschallanregeelemente (10) unter Druck zwischen dem Schwingkörper (5) und den Gegenmassen (11) angeordnet sind. 30
10. Ultraschallmotor nach den Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß lokale U-förmige Widerlager (11) vorgesehen sind und daß die Ultraschallanregeelemente (10, 10a) unter Druck zwischen dem Schwingkörper (53) und den Widerlagern (11) angeordnet sind. 35
11. Ultraschallmotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Ultraschallanregeelemente zwischen zwei bei gleicher Resonanzfrequenz schwingenden Schwingkörpern (12, 13) angeordnet sind. 40

45

50

55

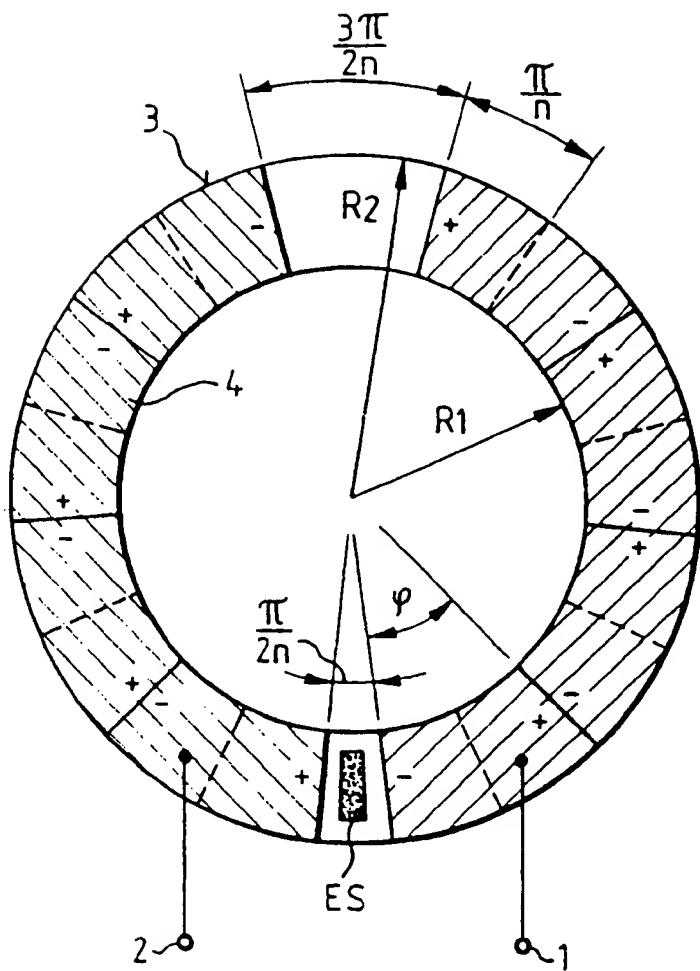


FIG.1

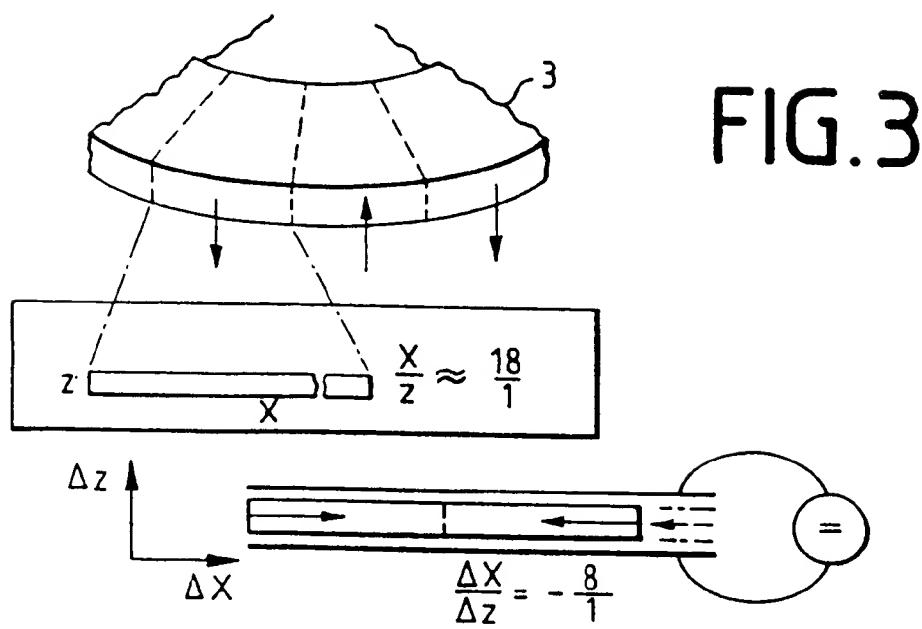


FIG.3

FIG.2

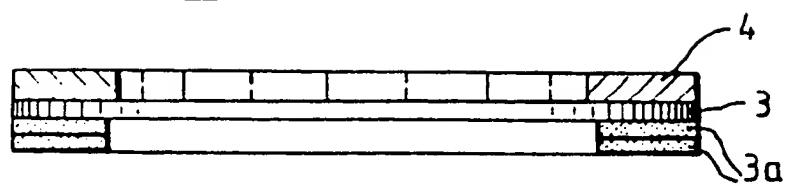


FIG.4

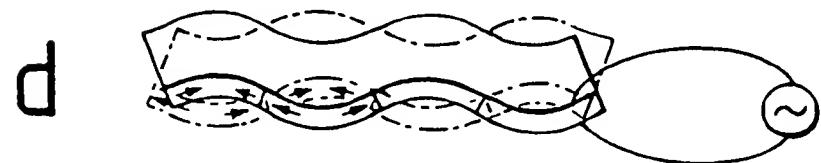
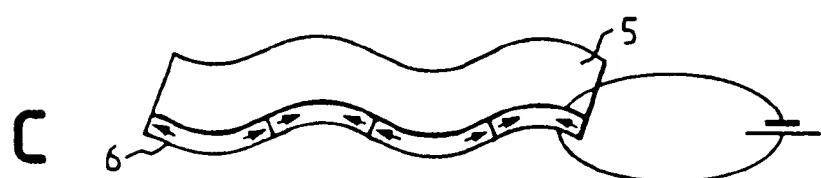
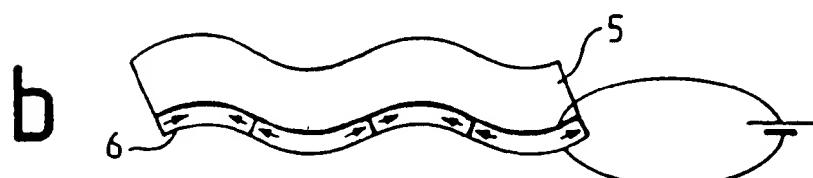
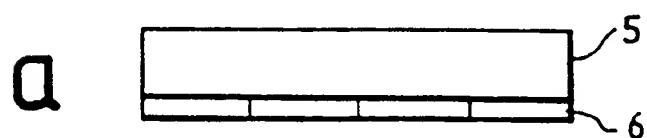


FIG. 8

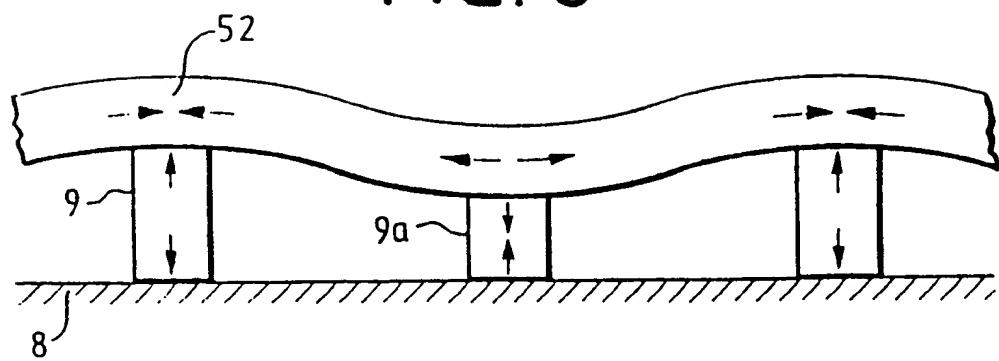
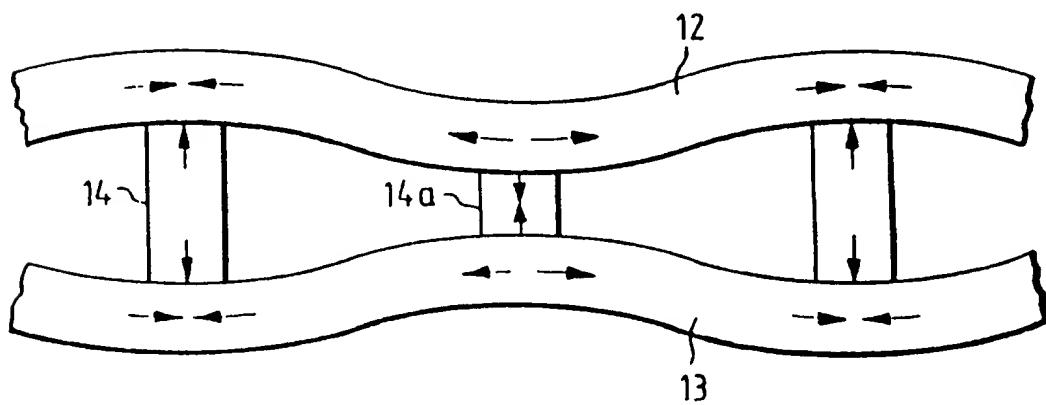
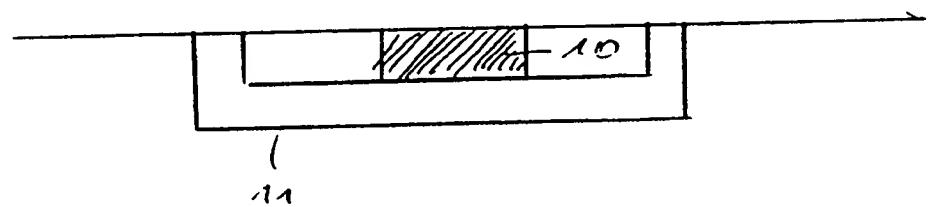
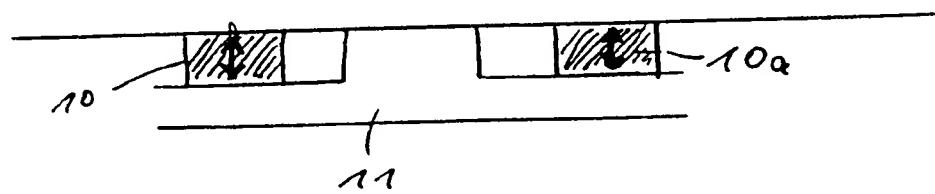
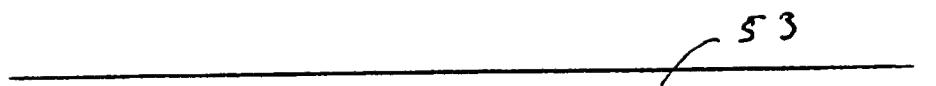


FIG. 10



$\tilde{r}_{ij} = g_a$





Europäisches  
Patentamt

## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 93 10 3456

### EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betreff Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. CL.5)
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 14, no. 255 (E-935) 31. Mai 1990 & JP-A-20 74 172 ( MEIDENSHA CORP ) 14. März 1990 * Zusammenfassung * -----	1	H01L41/09
RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. CL.5)			
H01L			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Rechercheort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
DEN HAAG	20 AUGUST 1993	PELSERS L.	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet	T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze		
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie	E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmelldatum veröffentlicht worden ist		
A : technologischer Hintergrund	D : in der Anmeldung angeführtes Dokument		
O : nichtschriftliche Offenbarung	L : aus zudem Gründen angeführtes Dokument		
P : Zwischenliteratur	M : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument		